

# Aspecten van de systeemanalyse bij het ontwerpen van projecten ten dienste van de zorg voor de waterkwaliteit

## 1. Inleiding

Bij het behandelen van diverse aspecten van de systeemanalyse bij het ontwerpen van projecten ten dienste van de zorg voor de waterkwaliteit wordt de aandacht vooral gericht op uitwerking van een praktisch concept voor het 'maatschappelijk' ontwerpen van deze zeer complexe milieuwerken.

Hoewel begin 1975 globaal 10 miljoen inwoners of rond 75 % van de bevolking in Nederland reeds woonde in een gebied



IR. E. L. C. KOSTER  
Witteveen & Bos,  
Raadgevend Ingenieursbureau  
Deventer

waar een rioolwaterzuiveringsinrichting aanwezig, c.q. in aanbouw of in ontwerp gereed was, heeft het toch zin om ten behoeve van de bouw van de overige installaties in Nederland zich met de problematiek van het ontwerpen van dit soort inrichtingen c.a. bezig te houden.

Het betreft hier nog altijd de zuivering van het afvalwater van globaal 4 miljoen inwoners, ongerekend de industriële vervuiling. Volgens het *Indikatief Meerjarenplan* [1] komt hier nog bij, dat van de begin 1975 in bedrijf zijnde installaties van 518 stuks, er 117 stuks alleen geschikt waren voor mechanische zuivering.

Het *Indikatief Meerjarenplan* geeft voorts aan dat voor de periode 1975 - 1979 rekening zou moeten worden gehouden met het bouwen en in gebruik nemen van ongeveer 180 installaties met een totale zuiveringscapaciteit van rond 9.500.000 inwonerekwivalenten (inclusief industrie) met een globale investering van rond f 1,3 miljard op prijsbasis 1973. Dit is dan nog exclusief de bedragen voor nieuwe aansluitingen (f 700 miljoen) en aanpassing en vervanging van rioleringen (f 600 miljoen) en transportleidingen met gemalen, waarvoor investeringsbedragen nodig zijn van nog eens rond f 700 miljoen, alles op prijsbasis 1973.

In de periode na 1979 zullen de bouwactiviteiten wel sterk gaan afnemen, maar zullen naar verwachting nog diverse, ook grotere milieuwerken worden gerealiseerd. Afb. 1 geeft een illustratief beeld voor de te verwachten installatiegrootte en de hiervoor noodzakelijke investeringen.

Bij de bestudering van de toepassingsmogelijkheden van de systeemanalyse bij de vele installaties, die nog moeten worden ge-

bouwd, kan worden begonnen bij de beschouwingen van *In 't Veld* [2] en *Kwakernaak* [3] over het denken in en het werken met systemen. Enkele relevante hoofdzaken betreffende systeembegrippen, systeembenadering en hiërarchie van systemen worden besproken.

Vervolgens volgt een korte samenvatting van het vooral door *Wissemma* [4] en *Tuininga* [5] beschreven aspectenonderzoek (Technology Assessment), dat de systematische studie omvat van de gevolgen die de samenleving ondervindt bij het in gebruik nemen van een nieuwe technologie. De nadruk valt daarbij niet alleen op de primaire, gewenste gevolgen, maar vooral ook op de secundaire gevolgen, schadelijke bij-effecten, volgreacties, contra-acties en na-ijl-effecten [6].

De systematiek van het ontwerpproces wordt besproken aan de hand van recente studies van *Van den Kroonenberg* [7 en 8], *Van der Mooren* [9] en *Le Clerque* [10]. Omdat deze auteurs het ontwerpproces van de werktuigbouwkundige kant benaderen is

vooral gezocht naar het gemeenschappelijke in de ontwerpproblematiek in de werktuigbouwkunde en de meer complexe milieuwerven waar we in het bijzonder het oog op hebben.

De mogelijke doelstellingen en randvoorwaarden voor het ontwerpproces zijn vooral gerelateerd aan de uitkomsten van de belangrijke toekomststudies van de *Stichting Toekomstbeeld van de Techniek*. Vooral die studies, die betrekking hebben op de beheerste groei [11], kringlopen van materie [12], zorg voor zuivere lucht [13], technologisch verkenen [14] en energiebesparing [15].

In het laatste deel van het artikel wordt ingegaan op de verkregen praktische ervaring in binnen- en buitenland met de toepassing van systeemanalyse in het algemeen. Tenslotte wordt het artikel afgerond met conclusies en aanbevelingen betreffende de toepassing van systeemanalyse bij het ontwerpen van werken ten dienste van de zorg voor de waterkwaliteit.

## 2. Systeemanalyse [2 en 3]

In alle vakgebieden gaat men steeds meer uit van de zogenaamde systeembenadering. Hierbij moet men o.a. denken aan:

- research;
- ontwikkeling theoretische kennis;
- ontwerpen producten, werktuigen en installaties;
- bedrijfsmechanisatie en automatisering;
- leiding en organisatie van bedrijven en instellingen.

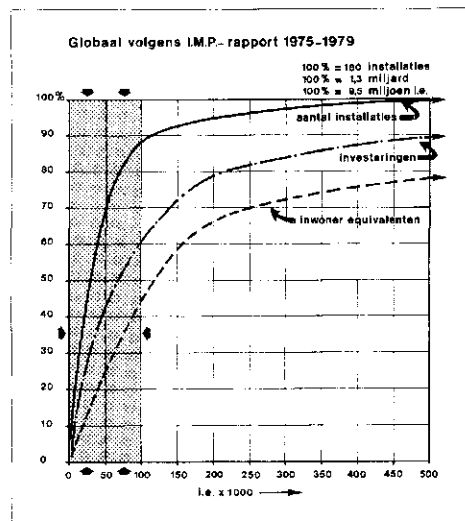
De systeemanalyse gebeurt nu op basis van een systeemtheorie, die het gemeenschappelijke in de diverse vakrichtingen bestudeert.

Het is hier niet de plaats om de vele begrippen te definiëren, die in de systeemanalyse een rol kunnen spelen. Volstaan wordt met het geven van de abstracte definitie van het systeem als basis voor een verdere opsomming van een aantal begrippen, die men veelal tegenkomt.

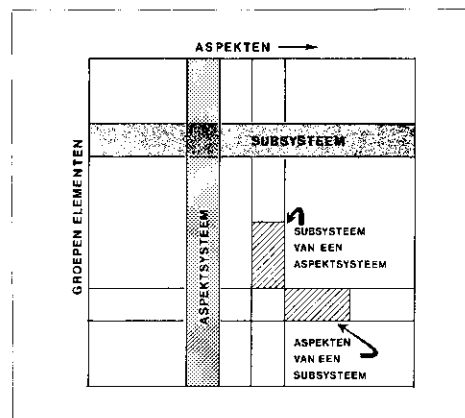
Een systeem is nu een, afhankelijk van de door de onderzoeker gesteld doel, van de omgeving te onderscheiden verzameling elementen, die onderlinge relaties en al dan niet relaties met de omgeving hebben. Afb. 2 geeft dan heel compact een aantal relaties van het beschouwde systeem, waaraan eventueel kenmerken zoals statisch of dynamisch, toestand, structuur, open of gesloten, dan wel systeemgrenzen kunnen worden gekoppeld.

Bij de verwerking van een systeem heeft men een doel voor ogen, dat buiten

Afb. 1 - Te bouwen installaties globaal volgens IMP-rapport.



Afb. 2 - Schematisch overzicht systeemrelaties.



het systeem ligt. Dit doel bereiken betekent dan in feite, dat het systeem funktioneeret. De funkties kunnen worden vervuld door bijvoorbeeld statische systemen, zoals betonskelet of wegnen, dan wel door dynamische systemen, zoals bijvoorbeeld een zuiveringsinrichting, die dus ook o.a. statische subsystemen kan omvatten.

Het is duidelijk, dat een systeemanalytisch begrip, zoals transformatie, waarbij de invoer zodanig verandert, dat de uitvoer aan de gestelde funktie voldoet, geheel van toepassing is voor de beschouwde milieuwerven.

Een begrip als redundantie, de verdubbeling van elementen, teneinde risico's te vermijden, sluit ook aan bij de gestelde problematiek.

Voor wat betreft de soorten van systemen is het in het kader van het onderwerp nuttig om de aandacht te vestigen op de systeemhiërarchie van *Boulding*, een ordening gebaseerd op de complexiteit van de beschouwde systemen.

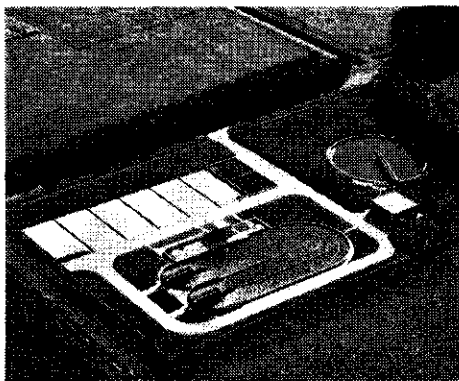
Er zijn een 9-tal niveau's. De complexiteit neemt toe, naarmate een hogere plaats in de systeemhiërarchie wordt ingenomen.

1. raamwerk-niveau (statisch, anatomie);
2. uurwerk-niveau (dynamisch, onveranderlijke structuur);
3. thermostaat-niveau (terugkoppeling);
4. cel-niveau (zelfhandhavend);
5. plant-niveau (van vast patroon naar eindvorm);
6. dier-niveau (grotere beweeglijkheid);
7. mens-niveau (ook abstrakt denken);
8. niveau sociale organisatie (waarde-systemen, etc.);
9. transcendentiaal niveau (filosofische systemen).

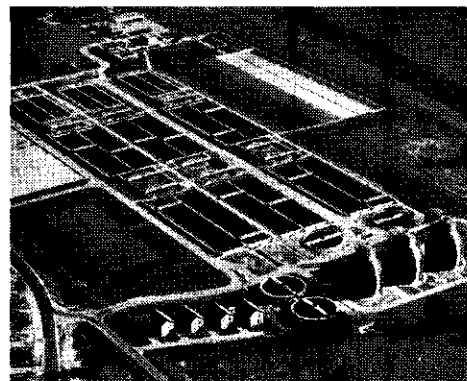
Bij de milieuproblematiek zal men al een heel eind de ladder van Boulding moeten opklimmen. Dit houdt in, dat men dan heel veel aspecten zou moeten meenemen. Bij het proces van zuivering van afvalwater ligt de transformatie op de niveaus 1 tot 4, voor de uitvoer heeft men te maken met de niveaus 5 tot 9.

Het is duidelijk, dat de bestudering van een systeem, dat een hoge plaats inneemt in de systeemhiërarchie feitelijk vrijwel alleen mogelijk is door het invoeren van vereenvoudigingen en door het invoeren dus van modellen. Model in de betekenis van een aspectstelsel van een lager niveau. De uitkomsten van het modelonderzoek gelden dus in principe niet voor een systeem van een hoger niveau.

Bij het ontwerpen van milieuwerven is in



*... eenvoudiger of ingewikkelder, goedkoper of duurder ... is een complex sociaal, economisch en technisch vraagstuk*



het verleden veelal een belangrijk stuk simplificatie ingevoerd, vaak sterk gedacht in modellen, van een onder de huidige en toekomstige milieuverhoudingen, te laag niveau.

De ontwerper zal noodzakelijkerwijs een stuk simplificatie moeten blijven inbouwen, dat men soms wel het Real Life System noemt. In dit Real Life System speelt de economie een principieel andere rol dan een aantal jaren terug en doet men thans veel moeite om de milieuwaarden in geld te kwantificeren [16].

Het denken in systemen is noodzakelijk voor de verkrijging van de 'helicopter-view', maar lost geen enkel keuze-probleem op. Met behulp van de systeemtheorie kan men systemen van uiteenlopende aard op overeenkomstige wijze beschrijven, terwijl deze theorie methoden geeft voor de uitvoering van analyses en de vaststelling van de responsie van systemen.

De door wiskundigen vooral voorgestane ontwikkeling van de systeemtheorie tot een zogenaamde Algemene Systeem Theorie, die fundamenteel voor alle disciplines geldt, tendert naar te grote abstraktie, waardoor men te ver van de praktijk zou komen.

### 3. Aspectenonderzoek [4, 5 en 6]

Aan de gewenste helicopter-view wordt ook bijgedragen door het zogenaamde aspecten onderzoek (Technology Assessment) zoals dit in de laatste jaren in ontwikkeling is gekomen [6].

De in de inleiding reeds gegeven definitie van het aspectenonderzoek wijst op een aanzienlijke uitbreiding van de gebruikelijke systeemgrenzen.

Er wordt namelijk niet alleen de aandacht gevestigd op primaire en gewenste gevolgen, maar tevens op de secundaire en tertiaire gevolgen, die vaak indirect of vertraagd optreden.

Men beperkt zich niet uitdrukkelijk tot de strikt economische en technische aspecten,

maar er wordt ook aandacht gegeven aan de ekologische, planologische, sociale, politieke en psychologische aspecten.

De aspectenstudies kunnen verschillende dimensies hebben. Hierbij wordt bijvoorbeeld onderscheid gemaakt naar opdrachtgever, aantal aspecten, tijdstip waarop de studie wordt uitgevoerd, intentie van de studie enz.

Het succesvol toepassen van het aspectenonderzoek valt en staat met de methodologie.

De door de MITRE-Corporation (USA) ontwikkelde methodologie heeft bijzonder de aandacht getrokken en bestaat uit een 7-tal stappen (steps).

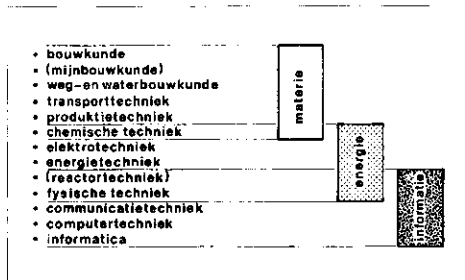
1. Grondslagen studie in hoofdzaak.
2. Inventarisatie relevante technologieën.
3. Sociale, politieke en technische veranderingen in de samenleving.
4. Gebieden waar de toe te passen technologieën gevolgen hebben.
5. Voorlopige analyse van de consequenties voor de sub 4 genoemde gebieden.
6. Interventiemogelijkheden ter vergroting van het maatschappelijk profijt van de toe te passen technologieën.
7. Slot-analyse van aan te houden uitgangspunten voor de uitwerking van het project.

Door het zorgvuldig kiezen van de systeemgrenzen kan men de studie binnen aanvaardbare proporties houden.

Aan de strategische betekenis van de 7 steps voor opdrachtgever en ontwerper/uitvoerder als basis voor een zorgvuldige evaluatie van de vele consequenties ten gevolge van de realisatie van belangrijke milieuprojekten, moet grote waarde worden toegekend.

In het gehele aspectenonderzoek speelt het gezonde verstand een dominerende rol en dient men er rekening mee te houden, dat men soms over in wezen onvergelykbare zaken moet oordelen.

Een interdisciplinaire samenstelling van het onderzoeksteam is gewenst met aan het



Afb. 3 - Chronologisch beeld van het ontstaan van de vakrichtingen [7].

hoofd een zogenaamde gespecialiseerde aspectenonderzoeker.

De MITRE-methodologie past zeer goed in de huidige praktijk van het zeer uitgebreide overleg dat vooraf dient te gaan aan de realisatie van belangrijke milieuwerken, waarvoor meer en meer strategische oplossingen worden gevraagd, in plaats van eindoplossingen.

Eigen ervaring met de toepassing van deze methodologie heeft geleerd, dat men moet oppassen, dat men zich niet 'verstapt', wat kan worden voorkomen, door het zorgvuldig kiezen van de systeemgrenzen.

4. Systematische ontwerpen [7, 8, 9 en 10]

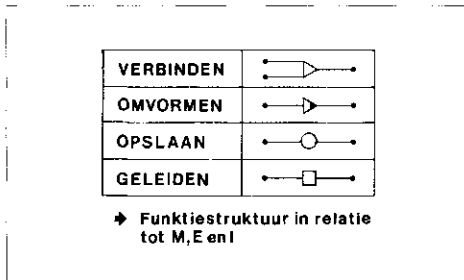
Vooraf in de werktuigbouwkunde wordt in de laatste jaren een meer fundamentele benadering van het ontwerpen nagestreefd. De ontwikkelingen op dit gebied zijn te onderscheiden in een Angelsaksische school (o.a. Asimow, Matousek, Krick) en in een Duitse school (o.a. Hansen, Koller, Roth, Rodenacker).

Het zijn twee min of meer tegengestelde stromingen, waarvan de eerstgenoemde een meer intuïtief karakter heeft, terwijl de Duitse meer diskursief is, in de zin van sterk rationeel.

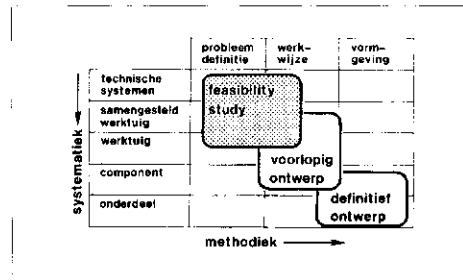
In de Angelsaksische methodiek is ruimte voor  $\alpha$  en  $\beta$  wetenschappen. De methodiek is meer extern gericht, wordt in relatie met de behoefte gebracht, met marketing, is meer programmatisch, er is plaats voor waarde-analyses, economische productiemethodes en dito organisatie van de ontwerparbeid.

De Duitse systematiek is sterk intern gericht. Men gaat uit van fysische principes, die aan het ontwerpen ten grondslag liggen, en van de konstruktie-elementen, waarmee de principes kunnen worden gerealiseerd.

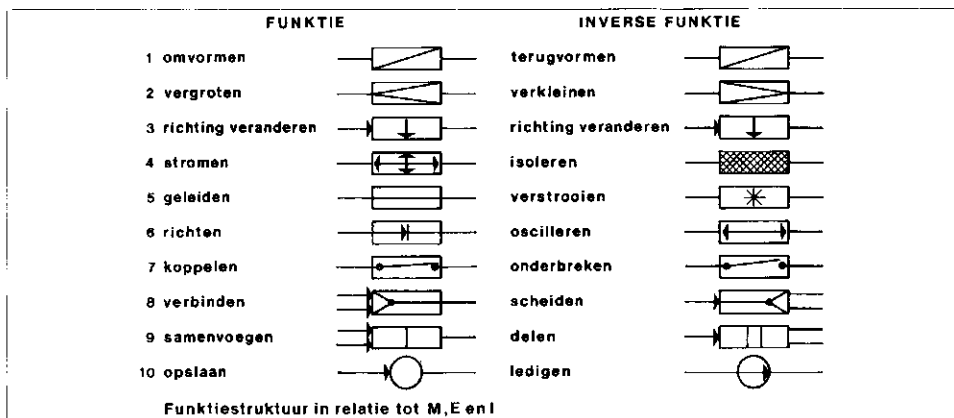
Met de ontwikkeling van de Angelsaksische en Duitse ontwerpmethodieken is een beweging ingezet, die ten doel heeft om de instrumentatie te geven aan de ontwerper, die uit vele ingewikkelde relaties tot een synthese moet komen. Dit synthetische denken is eerst pas goed



Afb. 4 - Elementaire ontwerpfuncties volgens Roth [7].



Afb. 6 - Ontwerpmethodiek volgens Asimow [7].



Afb. 5 - Elementaire ontwerpfuncties volgens Koller [7].

mogelijk geworden met behulp van de omstreeks 1955 in de USA ontwikkelde algemene systeemtheorie, waarbij men aanvankelijk en ook thans nog veel moeite heeft om vanuit de abstraktie van de systeemtheorie tot praktische toepassingen te komen.

Van den Kroonenberg [7] heeft geprobeerd de tegenstellingen tussen beide scholen op te laten gaan in een algemene ontwerpmethodiek, waarin het intuïtieve en diskursieve karakter van het ontwerpen een plaats krijgt, maar tevens wordt aangesloten bij de systeemanalyse.

Het chronologisch beeld van het ontstaan van de vakrichtingen volgens afb. 3 in relatie gebracht met de aard van het in dit artikel beschouwde milieuwerken, laat zien dat zowel materie, energie en informatie een hoofdrol spelen.

Hieruit moge blijken, dat de synthese ten behoeve van milieuwerken een uitermate systematische analyse vraagt. Hierbij worden van de ontwerper naast diskursieve, vooral ook intuïtieve talenten gevraagd, die de vereiste convergentie naar de oplossing mede bewerkstelligen.

Terwijl Rodenacker, als vertegenwoordiger van de Duitse school zijn diskursieve ontwerpmethodiek baseert op drie elementaire functies als scheiden, samenvoegen en geleiden, betrokken op de materie, energie en informatie, gaat Roth weer een stap verder.

In afb. 4 zijn de door Roth beschouwde vier elementaire functies aangegeven. Dat men nog verder kan en wil gaan wordt geïllustreerd door de methodiek van Koller volgens afb. 5, waarbij van tien grond- en van tien inverse functies wordt uitgegaan.

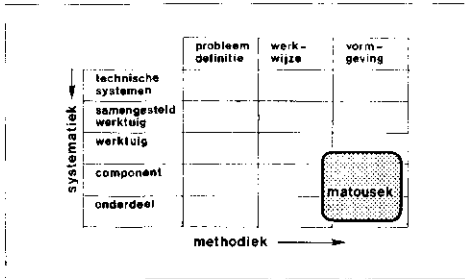
De relatie tot materie, energie en informatie komt ook terug in de algemene ontwerpmethodiek van Van den Kroonenberg. Terwijl Asimow veel aandacht heeft voor de probleemdefiniërende fase, de feasibility study, heeft een Matousek meer aandacht voor de vormgevende fase, afb. 6 en 7.

Van den Kroonenberg komt tenslotte tot een 3-fasen ontwerpleer, waarbij een probleemdefiniërende, een werkwijze bepalende en een vormgevende fase worden onderscheiden, waarbij de relaties tot creatieve invloeden en diskursieve essentieel zijn, afb. 8.

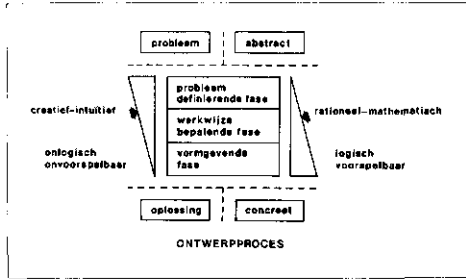
Deze 3-fasenleer sluit het best aan bij de huidige ontwerpmethodiek bij de beschouwde milieuwerken.

In alle ontwerpfasen worden van de ontwerper beslissingen gevraagd, waarvoor het beslissingsmodel volgens de systeemtheorie kan worden toegepast (definitie, synthese, analyse, evaluatie, beslissing, uitvoering).

Bij de synthese kan een belangrijke plaats worden ingeruimd voor de zogenaamde search. Dit is een effectieve zoekmethode,



Afb. 7 - Ontwerpmethodiek volgens Matousek [7].



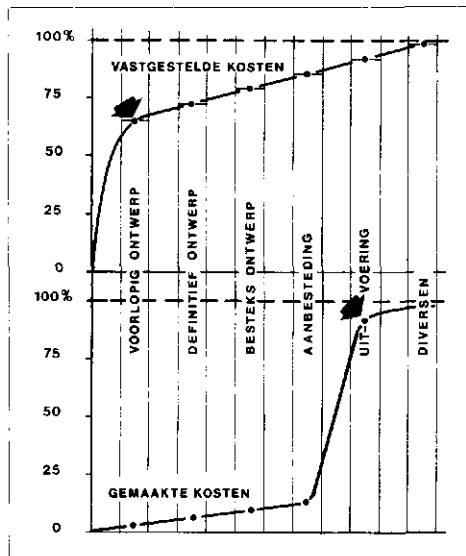
Afb. 8 - Ontwerpmethodiek volgens Van den Kroonenberg [7].

gebaseerd op vrije associatie, zoals inversie (omkering), empathie (vereenzelve), analogie, bionica (voorbeeld natuur), brainstorm, enz.

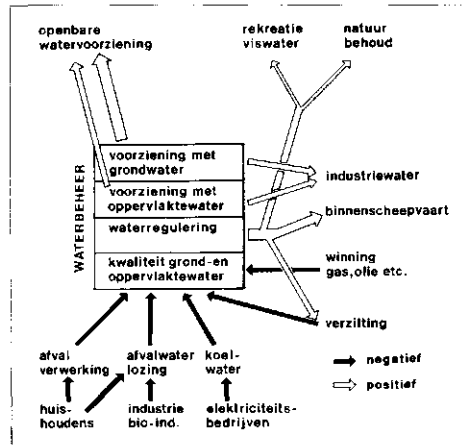
Ook is er ruimte voor analytische methoden (schematisering informatie, morfologische overzichten), kortom eigenlijke bekende aspecten van het normale ontwerpproces, die deels diskursief, deels intuïtief zijn. In het proces van analyse en evaluatie en het voorbereiden van de beslissing speelt de vakkennis een grote rol, maar wordt ook meer en meer steun gevonden bij de meer wiskundig geïntereerde methoden volgens de zogenaamde operations research technieken met behulp van lineaire programmering o.d.

De komputertoepassingen kunnen het ontwerpen als creatief proces niet vervangen, maar zijn gericht op de verbetering van het ontwerp en verhoging van de efficiency van de ontwerpwerkzaamheden.

In de huidige praktijk van het ontwerpen van milieuwerken is de interdisciplinaire samenstelling van het ontwerpteam noodzakelijk. Grote vakkennis, besliskracht en beschikbaarheid van ruime creatieve vermogens is vereist, maar leiden afhankelijk van de complexiteit van het project tot sterke verhoging van de ontwerpkosten. Deze hogere kosten kunnen verantwoord zijn, wanneer men de relatie tussen vastgestelde en gemaakte kosten mede in de beschouwingen betreft (afb. 9). De medewerkers van de project-teams moeten constant gevoed worden door gegevens uit de literatuur, waarbij de professio-

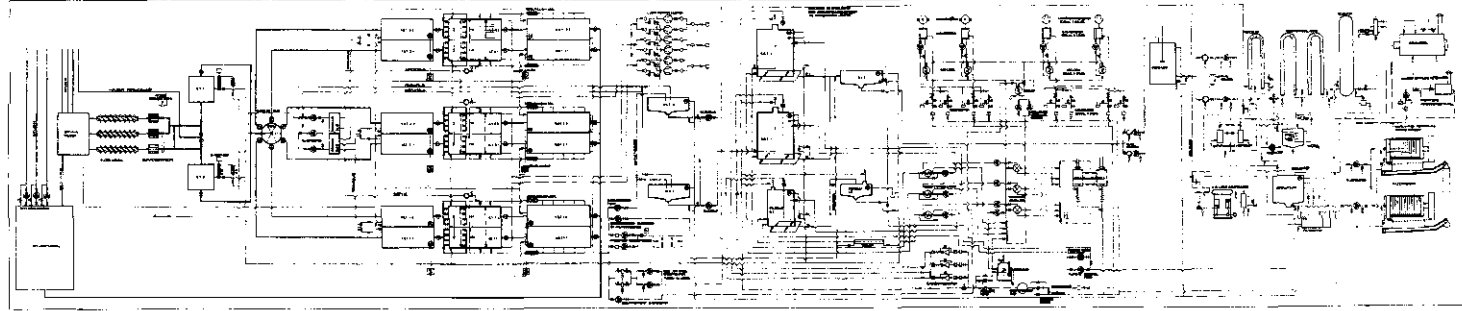


Afb. 9 - Vastgestelde en gemaakte kosten.



Afb. 11 - Model waterbeheer Nederland [11].

Afb. 10 - Een processchema.



nele literatuuronderzoeker een steeds belangrijker rol gaat spelen.

Deze voorbereekte literatuurinformatie geeft een bijvende ondersteuning van de intuïtieve en beslissing vragende arbeid.

In principe probeert men heden ten dage het kostbare ontwerpproces zo snel mogelijk te laten convergeren naar het proces-schema voor het milieuwerk, waarin opdrachtgever en ontwerper in verschillende disciplines het startpunt vinden voor de uitvoerende fase in het ontwerp (afb. 10).

5. Randvoorwaarden [11 t/m 21]

Bij het uitwerken van een aspectenstudie (Technology Assessment), vooral in relatie tot de milieuaspekten, blijkt spoedig de grote openheid en complexiteit van systemen als de hier bedoelde milieuprojekten, die de ontwerper noodzaken tot sterke vereenvoudigingen van de te onderzoeken modellen.

Elke vorm van techniek heeft een gewild hoofdeffect en in het algemeen ongewilde neveneffecten, die een bedreiging kunnen vormen van de ecosystemen. Voor een 5-tal milieutechnieken, waaronder cultuur-, gezondheids- en natuurtechniek, en waartoe ook zijn te rekenen de recirculatie en recuperatie, alsmede de normale techniek ten behoeve van het nietlevende milieu, zijn inventarisaties beschikbaar van bovenbedoelde ongewilde neven-effecten [12].

Een aspectenstudie voor milieuprojekten zou vervolgens kunnen worden benaderd vanuit het systeem van het waterbeheer in Nederland. Het model volgens afb. 11 geeft in grote lijnen de voornaamste relaties gegroepeerd om een 4-tal hoofdelementen van het waterbeheer, terwijl gedetailleerde relatieschema's in matrices beschikbaar zijn [11].

Afgezien van systeemanalytische problemen die samenhangen met de uiteindelijke conceptie van het milieuprojekt, kampt de ontwerper vooral met de vaagheid, onduidelijkheid, korte termijnvisie, dan wel beperktheid van het programma van eisen.

De noodzakelijke vereenvoudiging ten behoeve van het werken met modellen vraagt o.a. uitspraken op de volgende gebieden, t.w.:

- afweging en inpassing deelbelangen;
- aangeven van prioriteiten;
- aanvaarding milieu-faktor bij alle aspecten van het waterbeheer;
- funktiesplitsing tegenstrijdige belangen;
- optimalisatie op basis van kosten-batenanalyse met inbegrip van de welzijns- en milieufaktor.

Men zal niet altijd over kwantitatieve gegevens kunnen beschikken, daarom zal er vaak een kwalitatieve keuze- of beslissings-problematiek zijn.

Het probleem van de beheerste groei [11] heeft demografische, energetische en materiële aspecten.

De onzekerheid in de demografische en industriële ontwikkeling geeft in relatie tot de afvalwaterbehandeling de toekomstige beheerder en de ontwerper van de milieuwerken thans nogal wat zorgen. Ruime marges zijn niet meer verantwoord en men dient bij onverhoopte, onverwachte ontwikkelingen rekening te houden met flexibele interventiemogelijkheden bij het ontwerp van het milieuwerk. In de aspectenstudie moet over deze interventie bij step 6 systematisch een uitspraak worden gedaan.

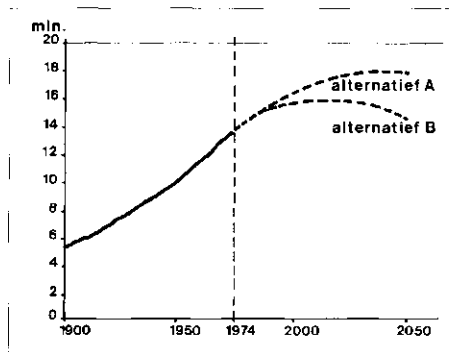
De Nederlandse bevolkingsgroei tot het jaar 2050 voor twee alternatieve prognoses van het CBS volgens afb. 12 geeft een beeld van kentering en onzekerheid dezer dagen. Er zijn thans ook meerdere bewijzen voor, dat nieuwere inzichten op het gebied van de landschaps-ekologie en natuurbeheer, maar ook op het gebied van het landschapsbeeld de plannen voor milieuwerken beïnvloeden.

Bij de evaluatie van alternatieve oplossingen voor milieuwerken, waarbij aan al of niet eigen energie-opwekking wordt gedacht, krijgt men te maken met een aantal randvoorwaarden, die de keuze tussen de alternatieven moeilijk maken.

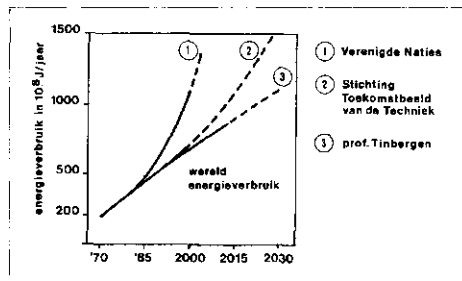
Aan de ene zijde heeft men te maken met de absolute betekenis van de huidige energiekrisis, die kan worden omschreven als de toekomstige uitputting van de traditionele primaire energiedragers, zoals olie, aardgas en kolen.

Voorts bestaat er een diskrepantie tussen de technische mogelijkheden van de olie-exporterende landen en de wereldvraag en de geweldige prijsstijgingen van olie, die een zeer ongunstige invloed uitoefenen op de betalingsbalans van de olie-importerende landen.

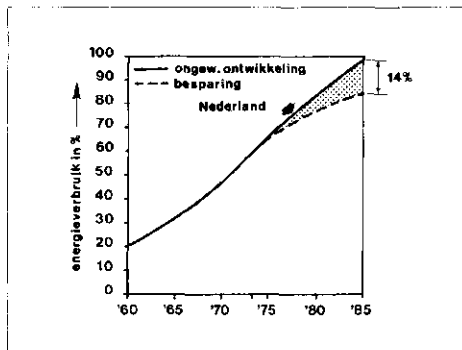
De onzekerheid van de prognoses betreffende



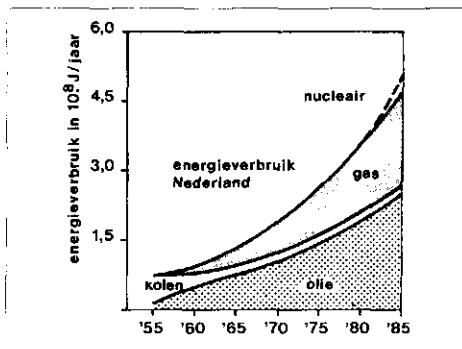
Afb. 12 - Nederlandse bevolkingsgroei tot 2050 volgens CBS.



Afb. 13 - Prognoses wereldenergieverbruik [15].



Afb. 14 - Energiebepalingen door technische en sociale maatregelen [15].



Afb. 15 - Energieverbruik in Nederland tot 1985 [15].

het wereldenergieverbruik (afb. 13), het tijdstip van de uitputting en eventuele beschikbaarheid van andere energiedragers (kernenergie) zou de keuze tot eigen energie-opwekking kunnen motiveren, of althans een aanwijzing geven de mogelijk-

heid hiertoe in de toekomst open te houden (interventiemogelijkheid).

De energiebehoefte ten behoeve van milieu-maatregelen in 1985 [15], bedraagt ca.  $110 \text{ à } 350 \cdot 10^5 \text{ J}$  of 2,7 à 8,5 % van het totale primaire energieverbruik in Nederland, waarbij het hoge aandeel van lucht en warmte t.o.v. water, bodem en geluid opvallen.

De afvalwater- en drinkwaterzuivering verbruikt relatief weinig energie (ca.  $15 \cdot 10^5 \text{ J}$  of 0,4 %) en benadrukt de relatieve betekenis van besparingen van technische en sociale veranderingen, die in deze sektor kunnen worden bereikt en die in principe voor alle sectoren in Nederland tezamen in 1985 op ca. 14 % worden geschat (afb. 14).

Toepassing van eigen energie-opwekking bij milieuwerken moet dus van meer betekenis worden geacht voor het exploitatiekostenbeeld tengevolge van de stijging van de energieprijzen, dan dat het zoveel bijdraagt tot energiebesparing.

Hierbij komt nog het relatieve grote aandeel van aardgas in Nederland als primaire energiedrager, zoals in afb. 15 wordt geïllustreerd en de hieruit voortvloeiende gevolgen, bij de huidige diskrepantie tussen olie- en aardgasprijzen in Nederland. Hierdoor blijft het keuzeprobleem al of niet eigen energie-opwekking moeilijk onder de huidige omstandigheden.

Kosten-batenanalyses met inbegrip van de welzijnsfactoren blijken voor de beschouwde milieuwerken toch nog vaak te tenderen naar technisch-ekonomische oplossingen, door gebrek aan kwalitatief sterke normstellingen op het gebied van energiebesparing.

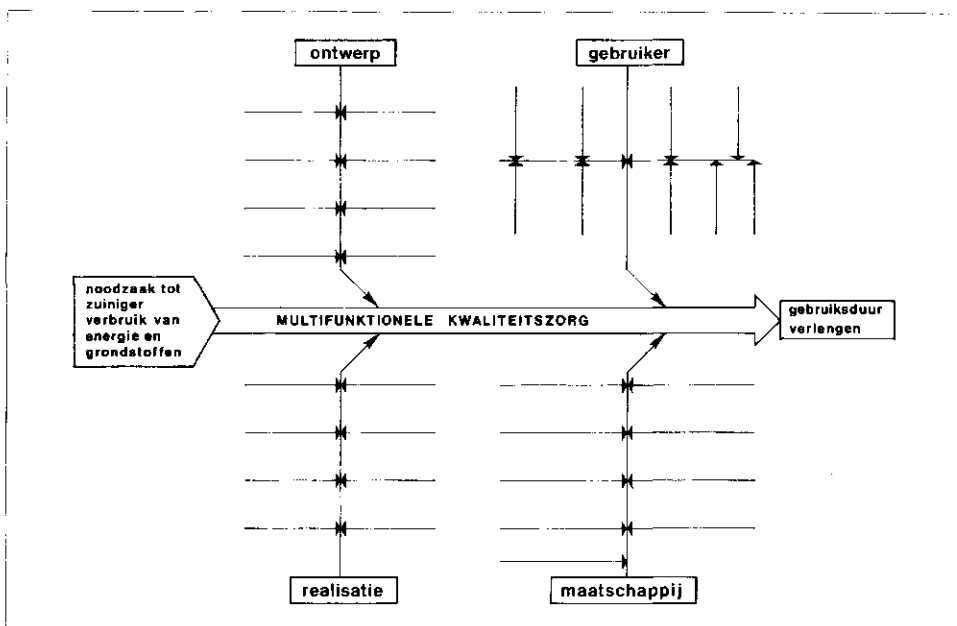
Een randvoorwaarde kan zijn het lange termijnbeleid ten aanzien van de materialenhuishouding in Nederland in relatie tot het gebruik van energie, de beschikbare reserves en het milieu en kan het hoofdsysteem van het milieuwerk beïnvloeden.

Een onlangs gestarte studie door de *Stichting Toekomstbeeld van de Techniek* zal een aantal materialen bestuderen, zoals aluminium, tin, zink, lood, glas, baksteen, beton, hout, papier, polyethyleen, polyvinylchloride en nylon.

Deze stoffen zijn een doorsnee van een breed veld van materialen, zoals metalen, organische en anorganische stoffen die op grote schaal gedifferentieerd worden toegepast, dan wel waarvan de grondstoffen-reserves gering zijn, terwijl het zowel vernieuwbare als niet vernieuwbare stoffen betreft.

Het onderzoek betreft o.a. effectiever en efficiënter gebruik, hergebruik etc.

Omdat het materiaal gewapend beton een belangrijk deel uitmaakt van de totale hoeveelheden te verwerken bouwmaterialen



Afb. 16 - Multifunktionele kwaliteitszorg (relaties).

bij milieuwerken en ook een belangrijk deel van de investeringskosten bepaald wordt de aandacht gevestigd op de studie van Kreijger [17].

Deze studie betreft de toepassing van beton in onze planetaire huishouding uit oogpunt van energieverbruik en milieubeïnvloeding. Een aantal voor de ontwerpen van milieuwerken interessante stellingen worden uit het model afgeleid.

Beton heeft bijvoorbeeld een relatief geringe energie-, water- en vervuilingshouding, vermindering van materiaalhoeveelheden (lage veiligheidsfactoren, verfijnde rekenmethoden) betekenen niet zoveel.

Maar wel is dringend spuurwerk nodig op het gebied van de levensduurverlenging en het slopen van dit materiaal.

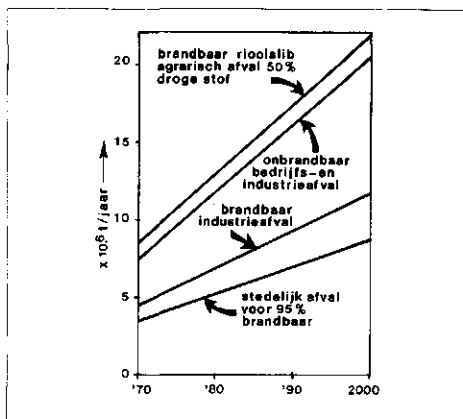
Ten aanzien van het te voeren beleid op het gebied van de kwaliteitszorg bij milieuwerken is nog veel onzeker of onduidelijk en vooral wat betreft de sociale aspecten moeilijk te formuleren.

In dit verband verdient het uitgebreide model betreffende de multifunktionele kwaliteitszorg volgens Alberti [18] nadere aandacht.

In dit model vindt men de gedetailleerd uitgewerkte relaties tussen ontwerp, realisatie, gebruiker en maatschappij (afb. 16). Het probleem van de verwijdering van vaste en vloeibare afvalstoffen die bij de behandeling van afvalwater vrijkomen vormt een belangrijk deel van de aspectenstudie.

Zaken als hergebruik, kringloop, transformatie, terugwinning, herverwerking en vergaan spelen een voorname rol [12].

De hoeveelheden zijn niet te verwaarlozen (zie afb. 17).



Afb. 17 - Vaste en vloeibare afvalstoffen [12].

Het lange termijnbeleid blijkt nog moeilijk te formuleren doordat bijvoorbeeld de mestafzet van de landbouw en slib van zuiveringsinrichtingen concurrerend zijn. De zware metalenhuishouding in de grond onder invloed van de bemesting geeft nog geen duidelijk inzicht in de schadelijke effecten voor het milieu. Voorts moet tot nu toe in vrijwel elke kostenbatenanalyse de verbranding van slibafvalstoffen het afleggen tegen vloeibare afzet of dumping van slibprodukten.

Bij de afvalstoffen zou men voorts ook kunnen rekenen de lozing van N- en P-verbindingen, waarbij vooral aandacht moet worden gegeven aan het relatieve aandeel van de verschillende bronnen aan de stikstof- en fosforemissie, waarbij hier vooral de relaties worden benadrukt tussen regenval, onbemeste grond, landbouw, bevolking en industrie [12].

Het thans nog weinig duidelijk gestructureerde lange termijnbeleid op het gebied

van de verwerking van afvalstoffen moet toch als randvoorwaarde in het hoofdsysteem worden ingevoerd en vraagt om ruime interventiemogelijkheden. De thans moeilijk te waarden sociale consequenties van ecologische aspecten van het verwerken van vaste en vloeibare afvalstoffen in o.a. akker- en weidebouw, bemoeilijkt het systeemanalytisch onderzoek zeer. Grotere researchinspanning op dit gebied lijkt zeer gewenst.

Het huishoudelijk waterverbruik heeft in de periode vanaf 1950 een gemiddelde stijging vertoond van ca. 80 tot 140 à 150 l/inwoner . dag, maar een verdere toename tot 200 l/inwoner . dag zal tot de mogelijkheden behoren, met plaatselijk sterke verschillen. Daarbij blijft de waterconsumptie toch nog belangrijk beneden de standaard van andere landen (USA, Zweden, Engeland). Er is evenwel sprake van een duidelijke beleidsvisie op langere termijn, zodat de mogelijke invloed op het beschouwde hoofdsysteem zich gemakkelijk laat afschatten.

Ten aanzien van het industrieel waterverbruik liggen de zaken veel minder duidelijk. Verschillende instituten komen tot verschillende prognoses (RID, NEI), terwijl in hoge mate rekening moet worden gehouden met een toenemend hergebruik en regeneratie van proces- en koelwater [12].

De mogelijkheden van gescheiden of gekombineerde zuivering van industrieel afvalwater worden deels bepaald door technologische mogelijkheden, maar vooral ook door het heffingsbeleid van de overheid en het industriële klimaat, dat dezer dagen onder grote druk staat van het economisch primaat. Tengevolge van vooral de economische onzekerheid waardoor een lange termijn visie voor de industriële ontwikkeling in vele sectoren erg moeilijk is, moet op basis van de huidige ervaring worden geadviseerd tot de zeer voorzichtige analyse of een huwelijk tussen een industrie en woongemeenschap voldoende lang stand kan houden.

Een verstandshuwelijk, met een duidelijk accent op de economische relaties, lijkt de meest betrouwbare randvoorwaarde, voor de systeemanalytische optimalisatie van het hoofdsysteem.

Bij het uitvoeren van systeemanalytisch onderzoek op modellen ten behoeve van optimalisatievraagstukken probeert men het aantal variaties beperkt te houden. Bij het ontwerpen van complexe milieuwerken is dat beslist geen eenvoudige zaak. De huidige economische omstandigheden kunnen thans aanleiding zijn tot het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses, waarbij wij o.a. de volgende vooral economisch be-

paalde elementen uit het hoofdsysteem op het oog hebben. Namelijk de ontwikkeling van normlonen voor de grond-, weg- en waterbouw en de metaalnijverheid (afb. 18), alsmede de prijsontwikkeling voor betonstaal, stookolie, gasolie en benzine en kolen (afb. 19 en 20). Illustratief is voorts de ontwikkeling van de indexcijfers voor grond- en hulpstoffen in de metaalnijverheid (afb. 21).

Tenslotte bevindt men zich thans in de situatie dat de ontwikkeling van de rentestand en zo mogelijk de ontwaarding in de gevoeligheidsanalyses moet worden opgenomen.

In verband met de koopkrachtvermindering treedt een waardevermindering op van bedongen annuïteiten. De kapitaalslasten zijn alleen maar juist voor het eerste jaar (afb. 22).

De publikatie van de *Stichting Toekomstbeeld van de Techniek* over Technologische Verkenningen [14] maakt duidelijk, dat voor een technologisch beleid op langere termijn het noodzakelijk is, dat men begrip heeft voor de trends en grote lijnen waarlangs wetenschap en techniek zich ontwikkelen.

Voor het hier behandelde onderwerp illustreren de volgende twee schema's [14] de samenhang tussen drie soorten toekomstverkenningen (afb. 23), en de samenhang tussen exploratief en normatief verkennen (afb. 24).

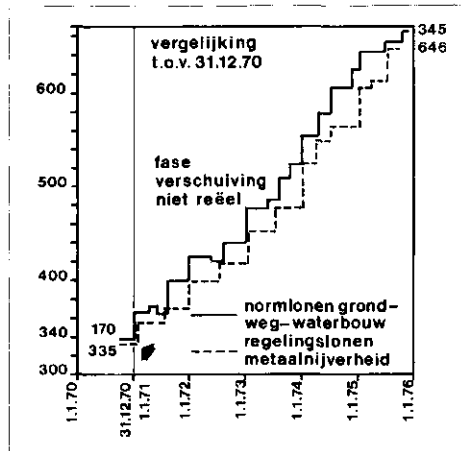
In het spanningsveld van het milieu komt het accent vooral op de normatieve verkenningen te liggen.

Vernieuwings- of innovatieprocessen van de ontwerper hebben een systematisch patroon waarbij men steeds bedacht moet zijn op valse starts, schijnbare vooruitgang en sociaal-ekonomische problemen.

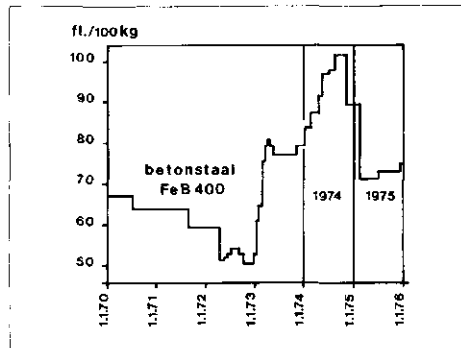
Veel waarde moet worden gehecht aan informatievergaring, die bekend staat als 'monitoring', wat voornamelijk neerkomt op het opbouwen van een gegevensbestand van toekomstsignalen, bijvoorbeeld uit pers, literatuur, jaarverslagen, uitspraken, enz. Motieven hiervoor zijn de volgende. Allereerst constateert men technische doorbraken in de theoretische literatuur eerder.

Voorts zijn praktische toepassingsmogelijkheden reeds lang bekend, voordat deze worden gerealiseerd. Vigerende sociale, politieke en ekologise omstandigheden beïnvloeden de richting en snelheid van de technische ontwikkelingen. Technische ontwikkelingen worden vaak beïnvloed door diegenen die beschikken over researchmiddelen.

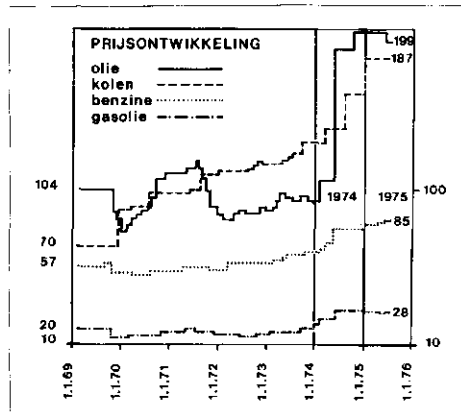
En tenslotte kan men uit de analyse van de parameter de stand van de techniek in een



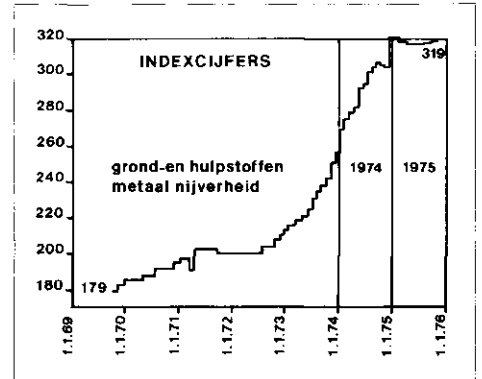
Afb. 18 - Normlonen grond-, weg- en waterbouw, metaalnijverheid.



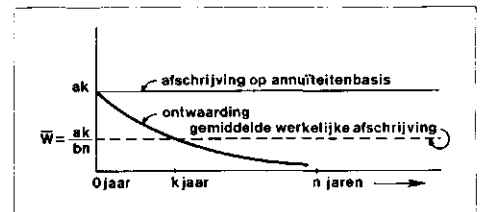
Afb. 19 - Prijzen betonstaal.



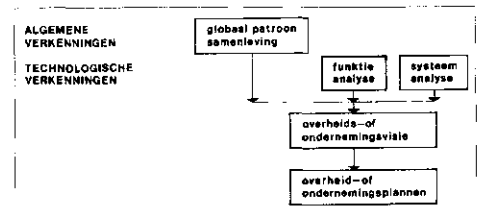
Afb. 20 - Prijzen stookolie, gasolie, benzine en kolen.



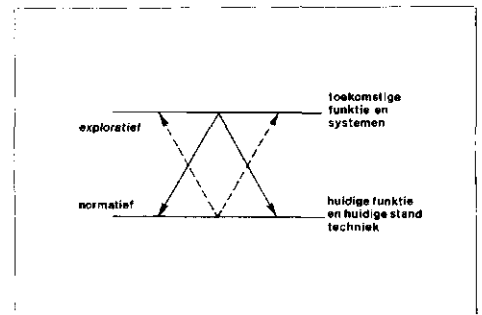
Afb. 21 - Indexcijfers grond- en hulpstoffen metaalnijverheid.



Afb. 22 - Kapitaalslasten en ontwaarding.



Afb. 23 - Samenhang tussen drie soorten toekomstverkenningen [14].



Afb. 24 - Exploratief en normatief verkennen [14].

bepaald vakgebied aflezen en vaststellen of men te maken heeft met barrières dan wel met doorbraken.

In het veld van de technologische verkenningen heeft men te maken met niet-intuïtieve naast intuïtieve methoden, die voorts kwantitatief dan wel kwalitatief kunnen zijn.

Van deze methoden wordt vooral de lineaire trendextrapolatie veelvuldig in de systeem-analyse toegepast.

Nuttig kunnen zijn trendanalyses met behulp van biologisch en ekonomische groei-

analogieën, substitutie- en regressie-analyses, die niet-intuïtief zijn.

Een kwalitatieve niet-intuïtieve verkenning-methode als de morfologische analyse biedt in de systeem-analyse goede convergentiemogelijkheden voor het oplossen van problemen. Een aansprekend voorbeeld is het morfologisch overzicht betreffende slibverwerking zoals is ontwikkeld door de *Slibkommissie* [19].

Tenslotte moet de aandacht worden gevestigd op de mogelijkheid van de toepassing

van intuïtieve Delphi methoden die een ieder weleens onbewust heeft toegepast, waarbij men vooral bij experts te rade gaat.

Resumerend zijn er mathematische en statistische methoden beschikbaar, die alle hun beperkingen hebben.

De technologische verkenningen geven geen beslissingen maar waardevolle signalen.

Wanneer men het principe van de monitoring toepast ziet men de doorbraken o.a. in de theoretische literatuur.

Voorzover men *Bischofsberger* [20] en *Oakley* [21] als vertegenwoordigers van de Duitse en Engelse afvalwaterwereld als voldoende sensitief voor toekomstige ontwikkelingen kan beschouwen, geeft het volgende overzicht een mogelijke extra dimensie aan de omvang van een volledig systeem-analytisch onderzoek ten behoeve van een milieuwerk.

In de eerste plaats betrokken op de Nederlandse situatie worden hier enkele toekomstsignalen van *Bischofsberger* doorgegeven [20].

Voor de drinkwatervoorziening zal steeds meer een beroep moeten worden gedaan op het oppervlaktewater. Problemen van drinkwatervoorziening en afvalwaterlozing laten zich in de toekomst niet meer gescheiden behandelen en een totale oplossing is gewenst.

Verbetering van de analysetechnieken en beoordelingscriteria bij lozing op oppervlaktewater.

De ontwikkeling van 'milieuvriendelijke' technologieën ter verwijdering van storende anorganische zouten, biologisch moeilijk of niet afbreekbare organische stoffen, voorts de toepassing van actief kool, makroporeuze harsen, ionenwisselaars, elektrolyse, ultrafiltratie en directe verbranding van concentraten, alsmede recyclingtechnieken.

Verbetering van de conventionele afvalwatertechniek met een meer konstante kwaliteit van het effluent en een sterke automatisering ten behoeve van bewaking en optimalisatie, naast een verhoging van de bedrijfszekerheid, vooral ook eenvoudiger en zo mogelijk lagere investeringskosten.

De biologische zuiveringsmethoden kunnen thans wel als voldoende worden beschouwd, maar de fysisch-chemische zuivering zal meer en meer worden toegepast ten behoeve van industrieel afvalwater, recreatiewater en ter bestrijding van eutrofiëring.

Belangwekkend is de vraag of aanvullende fysisch-chemische zuivering geen aanbeveling verdient boven een twee-traps biologische zuivering.

Verdere vergroting van de research-inspanning wordt noodzakelijk geacht, waarbij men stuit op het probleem het theoretisch onderzoek in de praktijk te konkretiseren, waardoor technologische ontwikkelingen worden vertraagd.

*Oakley* [21] geeft zijn toekomstsignalen wat typische Engelse aksenten mee, waarvan er ook enkele hier worden doorgegeven.

Naast het voor de hand liggende signaal als vermindering van het energieverbruik, denkt men sterk aan de verhoging en differentiatie van de effluent-standaards.

Volgens *Downing* zal men moeten streven naar verhoging van de standaard van de 30.20-norm voor wateren waar voldoende verdunning mag worden verwacht, naar de 10.10.10-norm voor wateren met minder capaciteit.

Voorts zou men moeten denken aan een 2.2.5-norm voor industrieel hergebruik, alsmede beperking van de organische koolstof, fosfor en zware metalen.

De 1.1.1-norm, vrij van pathogene bacteriën en beperking opgeloste stoffen als bron voor de drinkwaterbereiding.

Er zullen standaards komen voor fosfaat, nitraat en ammoniak.

De huidige biologische zuiveringsprocessen voldoen niet aan *Downing's* hogere standaards en vragen dus deels aanvullende technieken. Konventionele methoden zijn minder geschikt voor verwijdering van nutriënten, bacterieverwijdering, kleurkorrektie, stank of geurelimitatie en voor verwijdering van persistente toxische stoffen.

Voor desinfectie zoekt men alternatieve oplossingen in de vorm van broom, jodium of ozon, in plaats van chloor.

Voor polishing zal actief kool meer en meer in aanmerking komen.

Systeemanalyse zal meer worden toegepast, maar doordat de basisgegevens vaak inadekwaat zijn, moet men de uitkomsten meer als globale indicaties zien (CIRIA-onderzoek-project).

Tenslotte voorspelt men meer verbeterde rioolstelsels ter vermijding van verontreiniging door overstorten en ter beperking van de verblijftijden in de riolering, alsmede meer gescheiden rioolstelsels, wat aansluit bij de Nederlandse situatie.

Men streeft naar een verhoging van de technische standaard van het bedienend personeel, meer instrumentatie, meer automatisering, meer compacte en architectonisch aantrekkelijke bouw.

In principe probeert men zich te richten op

meer maatschappelijke behoeften.

Na het hierboven geschetste complexe beeld van de invloedsgrootheden bij het ontwerpen van milieuwerken is het duidelijk dat de systeemanalyse in de praktijk zich zal beperken tot een onderzoek op sterk vereenvoudigde modellen van aspecten van subsystemen. In die zin moeten in eerste instantie de praktische mogelijkheden van de systeemanalytische benadering worden gezien.

## 6. Praktische toepassing van systeemanalyse [22 en 23]

Bij het in werking treden van de Water Quality Act in 1965 in de USA en gelet op de enorme investeringen die ter bescherming van het milieu in de Verenigde Staten moesten worden gedaan, is het logisch geweest dat juist in dit land op het gebied van de toepassing van systeemanalyse bij het ontwerpen van milieuwerken veel ervaring is opgedaan [22].

Vooral de laatste 5 jaar is er veel bekend geworden over de mathematische en grafische ontwikkeling van kostenfuncties ten behoeve van milieuprojekten.

In een omvangrijke evaluatie van de literatuur op het gebied stelt *Tihansky*, dat er nog weinig bekend is van de relatie tussen de kosten van zuivering en de wijziging van de waterkwaliteitsstandaards. In Nederland is de situatie niet veel anders.

Het succes van systeemanalyse bij economische optimalisatie hangt in grote mate af van de nauwkeurigheid van kostenfuncties die in het model worden gebruikt. Het is daarom niet zonder meer mogelijk in de USA, dan wel in het buitenland gevonden kostenfuncties te transformeren naar Nederlandse omstandigheden.

Bij de toepassing van systeemanalyse bleek er aanvankelijk weinig bekend te zijn over de kosten van afzonderlijke procesonderdelen van de zuiveringsinrichtingen. De beschikbare kostenfuncties beperkten zich tot hoofdsystemen zoals oxydatiebedden, actief slibinrichtingen etc. Ook in Nederland is over de kosten van de onderdelen weinig bekend en blijft het kostenbeeld beperkt tot de bekende RIZA-grafieken, die overigens alleen gerelateerd zijn aan inwoner-ekwivalenten.

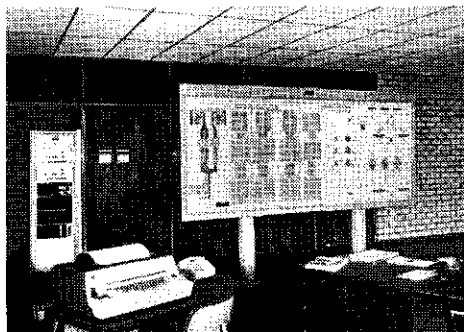
De voor de opbouw van deze RIZA-grafieken gebruikte gegevens hebben een statistische oorsprong gebaseerd op gegevens van installaties met vaak sterk verschillende standaards, terwijl de afhankelijkheid van de tijd het de ontwerper van de grafiek moeilijk maakt op de juiste wijze te indexeren.

Niet gepubliceerde onderzoeken onder auspiciën van de STORA hebben meer





... computers als belangrijk hulpmiddel bij de optimalisatie van het ontwerp en de bedrijfsvoering van milieuprojekten ...



objektief vergelijkingsmateriaal opgeleverd. De statistische gegevens van de kosten van diverse typen zuiveringsinrichtingen zijn behandeld met behulp van de regressiemethode en hebben een goede korrelatie opgeleverd.

Een dergelijk onderzoek terzake van de personeelsbezetting leverde eveneens waardevol materiaal op, maar met erg veel spreiding en een slechte korrelatie.

Opmerkelijk is, dat steeds weer de relatie met de inwoner-ekwivalenten wordt gezocht, hetgeen aanleiding moet geven tot spreiding van de puntrelaties.

Ook aan de indexaties volgens bouwkostenindex (utiliteitsbouw) kleven bezwaren, vooral gelet op het belangrijke aandeel van de elektromechanische apparatuur.

Overigens zijn deze kostengrafieken goed voor een globaal investeringsbeeld maar dragen weinig bij tot een inzicht in de economische optimalisatie van een milieuwerk afzonderlijk (blackbox).

Zonder nu de Amerikaanse ervaring met systeemanalytisch onderzoek volledig te willen weergeven wordt toch de aandacht gevestigd op een aantal relevante zaken.

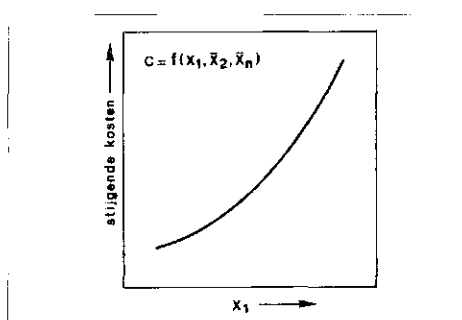
Kostenmodellen worden als volgt mathematisch geformuleerd als:

$$C = \text{functie}(X_1 \cdot X_2 \dots X_n)$$

Wanneer alle variabelen  $X_2 \dots X_n$  konstant zijn, behalve  $X_1$ , ontstaat het grafisch beeld van afb. 25, dat representatief is voor vele kostenfuncties op het gebied van afvalwaterbehandeling.

Zowel investerings- als bedrijfskosten zijn een onderwerp van studie geweest. Minder gemakkelijk in de modellen te brengen zijn bijvoorbeeld aspecten van recovery van energy, recycling van materialen, re-use van water, dan wel verkoop van bij afvalwaterzuivering vrijkomende produkten.

De meeste kostenfuncties hebben de capaciteit als enige parameter ( $m^3$ ,  $m^2$ ,  $m^3/h$ ,



Afb. 25 - Kostenmodellen.

inw.ekw.), terwijl statistisch is gevonden dat de ontwerp-capaciteit een belangrijker parameter is dan de effluentkwaliteit.

Voor de chemische industrie blijkt naast de ontwerp-capaciteit ook de concentratie van het afvalwater significant te zijn voor de kosten, ofschoon er sprake is van sterke spreiding.

Bij zuiver huishoudelijk afvalwater zijn voorts ook relaties mogelijk ten opzichte van het zuiveringseffekt (removal-efficiency).

Aankankelijk werd veel gestreefd naar grafische uitbeelding van kostenfuncties, maar later zijn mathematische modellen ontwikkeld die meer geschikt zijn voor optimalisatiestudies, terwijl in de laatste jaren het cost-sensitivity onderzoek tot ontwikkeling is gekomen met inschakeling van de computer.

De operations research technieken worden veelvuldig toegepast bij optimalisatiemodellen. De oplossingen vinden veelal plaats met behulp van de lineaire programmering. De meeste kostenfuncties worden als lineair aangenomen. Niet-lineaire functies worden benaderd door lineaire deelfuncties.

De beperktheid van de lineaire programmering is gelegen in de omstandigheid dat een beperkt aantal kostenfuncties tegelijkertijd in de optimalisatie kunnen worden behandeld, anders worden de rekentijden te groot en vraagt het excessieve computeropslag.

De grafische voorstelling van mathematische kostenfuncties heeft zijn waarde, al hebben ze slechts relatieve betekenis. De vele door Tihansky [22] gegeven grafieken zijn vooral illustratief, wanneer het kostenfuncties betreft van zuiveringstechnieken, die in Nederland minder gebruikt worden, dan wel nog niet tot ontwikkeling zijn gekomen of waarmee de praktische ervaring beperkt is (oxydatievijvers, elektrolyse, microstraining, zandfiltratie, actief-kool, coagulatie).

Ook grafieken betreffende de jaarlijkse kosten voor P- en N-verwijdering, alsmede die van zwevende stof verhelderen het inzicht.

In de USA erkent men thans ook de betrekkelijke betekenis van de bovengeschetste kostenfuncties, omdat de milieuwaardering buiten beschouwing blijft.

Men is bezig aanvaardbare meer sociale kostenfuncties te ontwikkelen.

Recente Europese ervaring met de toepassing van systeemanalyse is o.a. beschikbaar gekomen door de publikatie van een dissertatie van Schütz [23].

Dit onderzoek heeft betrekking op het ontwerp van een actiefslibinstallatie. Hierbij is de relatie onderzocht tussen een aantal variabelen in het actiefslibproces, zoals o.a. het slibgehalte in aerietanks, slibbelasting, verblijftijden in tanks, op basis van moderne Duitse ontwerpstechnieken en beschikbare kostenfuncties van onderdelen van de installatie.

Interessant is daarbij ook de afhankelijkheid van de nabezinktank van het slibgehalte dat in de aerietanks is aangenomen (Merkel), een in Duitsland in zwang komende ontwerpparameter.

Uit deze dissertatie blijkt duidelijk hoeveel moeite een dergelijk systeemanalytisch onderzoek bij de uitwerking geeft, vooral als het gaat om het invoeren van de steeds noodzakelijke vereenvoudigingen om het model hanteerbaar te maken. Daarbij is het niet altijd zeker dat wanneer gezocht wordt naar kostenminimalisatie, de berekeningen snel zullen convergeren, zoals bleek bij de verwerking van lineaire-, e- en hyperbolische kostenfuncties tegelijkertijd. Het bleek noodzakelijk de kostenfuncties te beperken tot lineaire of kwadratische functies.

Men waarschuwt voor de interpretatie van de modeluitkomsten, wat in de praktijk van computerberekeningen steeds het uitgangspunt moet zijn.

Niettemin bleken de resultaten van dit modelonderzoek interessant, maar in de relatieve betekenis van een systeemanalytisch onderzoek van een vereenvoudigd model, bestaande uit voor Nederland niet geheel

representatieve elementen en geldig voor bepaalde aspecten en randvoorwaarden. Interessant in die zin, dat gerekend werd met variabele grootheden in de ontwerpgrondslagen zoals slibbelasting, slibgehalte, verblijftijden, organische droge stofgehalte. De optimalisatieberekeningen strekten zich ook uit tot het in rekening brengen van seizoens- en daginvloeden, minder goed effluent, variërend zuurstofgebruik, variabele rente en afschrijvingsperioden, maar merkwaardig genoeg voor een vaste kWh-prijs.

Hoe het ook zij, de systeemanalytische winst was, dat men loskwam van de bij het ontwerp soms aanwezige niet rationele gronden, zoals mode, psychologische instelling en het werken met vuistwaarden, maar ook van persoonlijk gekleurde dimensioneringen.

Om te eindigen in Nederland wordt tenslotte de aandacht gevestigd op de interessante systeemanalytische problematiek die ontstaat bij het bepalen van de overgangsgebieden waarop toepassing van 'n actiefslibinstallatie al of niet met eigen energie-opwekking of een oxydatiesloot aanbeveling verdient (afb. 26).

Eén en ander op basis van jaarlijkse kosten, fluktuierende energieprijzen en al of niet rekening houdende met ontwaarding, blijken er, uitgaande van het beschouwde model, voor een relatief grote installatie van rond 50.000 i.e. reeds aantrekkelijke mogelijkheden te liggen voor eigen energie-opwekking.

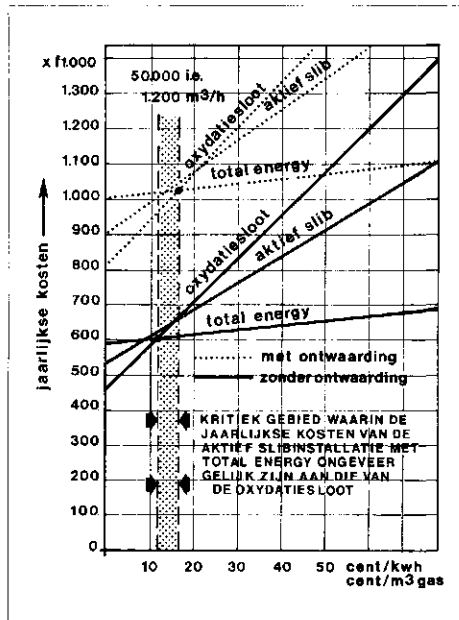
Of men deze keuze dan ook in de praktijk zal kunnen doen hangt, zoals we weten af van vooral niet-ekonomische maatschappelijke aspecten, die in een Technology Assessment onderzoek aan de oppervlakte zijn gebracht.

De computer speelt in de raadgevende ingenieurspraktijk in Nederland thans een niet meer weg te denken rol bij optimalisatiestudies op het gebied van verzameling, transport en zuivering van afvalwater, alsmede projekt-management. Eigen ervaring met de bedrijfsvoering van diverse grotere en meer gekompliceerde milieuprojekten in Nederland bevestigt eveneens de grote mogelijkheden van de procescomputer bij de optimalisatie van het zuiveringsproces [24].

Onder bepaalde randvoorwaarden is dit een logische konsekwentie van het onderzoek naar de meest optimale oplossing voor de projektuitvoering van een dynamisch hoofdsysteem, waartoe de in dit artikel beschouwde milieuprojekten worden gerekend.

## 7. Konklusies

1. Het toepassen van systeemanalyse bij het



Afb. 26 - Eigen energie opwekking is systeem-analytisch een aktueel en kontroversieel probleem.

ontwerpen van projekten ten dienste van de zorg van de waterkwaliteit is met het oog op de grote ekonomische en maatschappelijke belangen van essentiële betekenis.

2. Het aspektenonderzoek (Technology Assessment) volgens de 7-steps MITRE-methodologie biedt uitstekende mogelijkheden voor het ontwerpen van vooral strategische modellen ten behoeve van milieuprojekten, waarin meer rekening wordt gehouden met interventiemogelijkheden.

3. Door de relatie met het milieu en de vele disciplines wordt het hoofdsysteem snel zeer samengesteld, zodat men vaak sterke vereenvoudigingen moet doorvoeren en het hoofdsysteem noodgedwongen moet worden herleid tot vele aspect- en elementenstudies.

4. De huidige ervaring met systeemanalytisch onderzoek ten behoeve van milieuprojekten met operations researchtechnieken heeft vooral een sterke ekonomisch gerichte inslag met nog weinig of geen praktische mogelijkheden voor invoering van zogenaamde welzijnskostenfuncties.

5. Met het oog op de beschikbare geldmiddelen en tijd moet bij de systeemanalytische benadering van milieuprojekten uitgegaan worden van een redelijke convergentiesnelheid voor het bereiken van de meest optimale oplossing. In dit verband is zowel creatief-intuïtieve als rationele interdisciplinaire probleemanalyse gewenst, waarbij een goed afgestemd gevoel voor de betrouwbaarheids grenzen van de vereenvoudigde modellen, als voor de vereiste omvang en diepte van de aspektenstudie een dwingende noodzaak is.

## Literatuur

1. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. *De bestrijding van de verontreiniging van het oppervlaktewater* (Indikatief meerjarenprogramma 1975-1979) (1975).
2. In 't Veld, J. *Denken in systemen: systeem-begrippen, systeembenadering, hiërarchie van systemen*. De Ingenieur (1972) nr. 32/33, blz. A680-A685.
3. Kwakernaak, H. *Werken met systemen*. De Ingenieur (1974) nr. 22, blz. 428-432.
4. Wissena, J. G. *Aspektenonderzoek*. De Ingenieur (1973) nr. 1, blz. 8-11.
5. Tuininga, E. J. *Technology Assessment*. TNO-Projekt (1973) nr. 3, blz. 102-107.
6. Hetman, F. *Society and the Assessment of Technology*. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris (1973).
7. Kroonenberg, H. H. van. *Methodisch ontwerpen*. De Ingenieur (1974) nr. 47, blz. 915-923.
8. Kroonenberg, H. H. van. *Overzicht van de Angelsaksische ontwerp literatuur*. De Constructeur (1974) nr. 4, blz. 37-44.
9. Mooren, A. L. van der. *Ontwerpen als onderwerp van onderwijs en onderzoek*. De Constructeur (1974) nr. 6, blz. 63-67 en nr. 7, blz. 25-30.
10. Le Clerque, H. *Methodiek in ontwerp en constructie*. De Constructeur (1974) nr. 5, blz. 49-55 en nr. 6, blz. 53-59.
11. Stichting Toekomstbeeld der Techniek: *Beheerste groei* (1973) Publikatie nr. 16.
12. Stichting Toekomstbeeld der Techniek: *Kringloop van Materie* (1973) Publikatie nr. 18.
13. Stichting Toekomstbeeld der Techniek: *Zorg voor zuivere lucht* (1973) Publikatie nr. 17.
14. Stichting Toekomstbeeld der Techniek: *Technologisch verkennen: methoden en mogelijkheden* (1973) Publikatie nr. 15.
15. Stichting Toekomstbeeld der Techniek: *Energy Conservation: Ways and Means* (1974) Publikatie nr. 19.
16. Hueting, R. *Nieuwe schaarste en ekonomische groei*. Agon Elsevier Amsterdam/Brussel (1974).
17. Kreijger, P. C. *Beton in onze planetaire huishouding*. Cement XXVI (1974) nr. 3, blz. 93-101.
18. Alberti, W. P. A. *Multifunktionele kwaliteitsborg voor vertraagd gebruik van schaarse grondstoffen*. De Ingenieur (1974) nr. 41, blz. 795-797.
19. Haan, S. de, Karper, R., Scheltinga, H. J. M., Selm, J. van, Teeuwen, T., Verhaagen, J. *Methoden van Slibverwerking*. H<sub>2</sub>O (1973) nr. 14, blz. 356-366.
20. Bischofsberger, W. *Abwasserwirtschaft und Abwassertechnik morgen*. Korrespondenz Abwasser (1973). H. 10. S. 259-264.
21. Oakley, H. R. *The future*. Proceedings of the Conference at the Institution of Civil Engineers. Advances in sewage treatment (1972), p. 67-81.
22. Tihansky, P. D. *Historical development of water pollution control cost functions*. Journal WPCF (1974) vol. 46, pag. 813-831.
23. Schütz, M. *Anwendung der Systemtechnik bei dem Entwurf von Kläranlagen*. Dissertation Technische Universität Berlin (1973).
24. Valster, C. B. *Rationalisatie van de bedrijfsvoering van de rioolwaterzuiveringsinrichting te Hengelo door toepassing van een procescomputer*. Machevo-Congres (1972).

